

## BİR RÜZGÂR TÜRBİNİNİN DEĞİŞİK KOŞULLARDAKİ DİNAMİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

*M. Özgün KORUKÇU\**

**Özet:** Rüzgâr türbinlerinin tasarımında türbin bileşenlerine gelecek statik ve dinamik yüklerin belirlenmesi gerekmektedir. Kule ve kanatlara gelen aerodinamik yükler, bu bileşenlerde zaman içerisinde yorulmaya neden olur. Rüzgâr türbinlerinin çalışma ömürleri yirmi sene gibi uzun bir zaman olduğundan oluşabilecek her türlü yükün hesaplanması gerekmektedir. Bu çalışmada 5 MW kapasitesindeki bir rüzgâr türbininin değişik koşullar altında maruz kaldığı yükler HAWC2 simülasyon yazılımında uygulanarak türbinin bu koşullar altındaki dinamik davranışları incelenmiştir. Türbülans ve aerodinamik etkilerin de göz önüne alındığı birkaç senaryo incelenmiştir. Rüzgâr türbininin değişik koşullar ve yükler için verdiği cevaplar elde edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Rüzgâr Türbini, Aeroelastisite, Simülasyon

### Investigation of Dynamic Responses of a Wind Turbine under Different Conditions

**Abstract:** It is necessary to assess the static and dynamic loads on turbine components when designing the wind turbines. Aerodynamic loads on tower and blades cause fatigue within time. Due to the lifetime of wind turbines are twenty years all possible load cases have to be calculated. In this study a 5MW wind turbine was simulated with HAWC2 simulation software under different load cases and dynamic responses of the turbine were investigated. Different scenarios with turbulence and aerodynamic effects were also investigated. The responses of the wind turbine under different conditions and loads were obtained.

**Key words:** Wind Turbine, Aeroelasticity, Simulation

## 1. GİRİŞ

Aeroelastisite bir akışkan içerisinde hareket eden esnek, katı bir yapının üzerine etki eden yapısal, aerodinamik ve ataletsel kuvvetlerin birbiriyle etkileşimini inceleyen bilim dalıdır. Rüzgâr türbinlerinin kanatları üzerlerinden esen rüzgâr sonucunda değişik yüklere maruz kalmaktadırlar. Bir rüzgâr türbininin ortalama ömrünün yirmi sene olduğu ve bir otomobilden daha fazla çalışma ömrü olduğu düşünülürse türbin bileşenleri üzerine gelen yüklerin hesaplanması türbin tasarımı için oldukça önemlidir.

Rüzgâr türbini tasarımı için yazılmış aeroelastik kodlar rüzgâr türbini tasarımında kullanılabilir. Bu kodlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır (Ahlström,2005):

\* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Görükle 16059, Bursa.  
İletişim Yazarı: M. Özgün Korukçu (ozkorukcu@uludag.edu.tr)

- ADAMS/WT (Automatic Dynamic Analysis of Mechanical Systems – Wind Turbine) - NREL
- Alcyone- Atina Teknik Üniversitesi
- BLADED - Garrad Hassan
- DUWECS (Delft University Wind Energy Converter Simulation Program)
- FAST (Fatigue, Aerodynamics, Structures, and Turbulence)-NREL
- FLEX5-Danimarka Teknik Üniversitesi
- FLEXLAST (Flexible Load Analysing Simulation Tool)- Stork Product Engineering
- GAST (General Aerodynamic and Structural Prediction Tool for Wind Turbines) - Atina Teknik Üniversitesi
- PHATAS-IV (Program for Horizontal Axis Wind Turbine Analysis Simulation, Version IV) - Hollanda Enerji Araştırması Kurumu Rüzgâr Enerjisi Bölümü

Danimarka Teknik Üniversitesine bağlı Risø Ulusal Laboratuvarı tarafından geliştirilen HAWC2 (Horizontal Axis Wind Turbine Code 2) 2003 senesinden beri rüzgâr türbinlerinin zaman boyutundaki dinamik davranışlarını hesaplayan bir programdır (Larsen, 2010).

HAWC2 programı ile aşağıdaki hesaplamalar yapılabilir:

- Bir, iki, üç ya da daha çok kanatlı karasal rüzgâr türbinlerinin yapısal analizi
- Kanat açısı değişken ya da sabit kanat açılı rüzgâr türbinlerinin analizi
- Gerdirme halatları ile desteklenen kulelerin analizi
- Tek ayak, üçayak ya da kafesli destek üzerine oturan deniz üstü rüzgâr türbinlerinin analizi
- Yüzen rüzgâr türbinlerinin analizi
- Aynı anda birden çok rotorun analizi
- Çoklu gövde formuna göre çok serbestlik derecesindeki sistemlerin analizi
- Kanat Elemanı Momentum Yöntemi (BEM) kullanılarak yapılan detaylı analizler
- Hidrodinamik hesaplamalar
- Su kinematığı
- Rüzgâr, türbülans ve gölgeleme modelleri
- Kanat açısı ayarlama düzeneği kontrol sistemi ve değişken hız kontrol sistemi ile kontrol edilebilen rüzgâr türbinlerinin analizi

Bu çalışmada 5 MW kapasitesindeki bir rüzgâr türbininin değişik koşullar altında maruz kaldığı yükler ve türbinin bu koşullara verdiği cevaplar HAWC2 kodu kullanılarak hesaplanmıştır.

## 2. HAWC2 KODU ve HESAPLAMA YÖNTEMİ

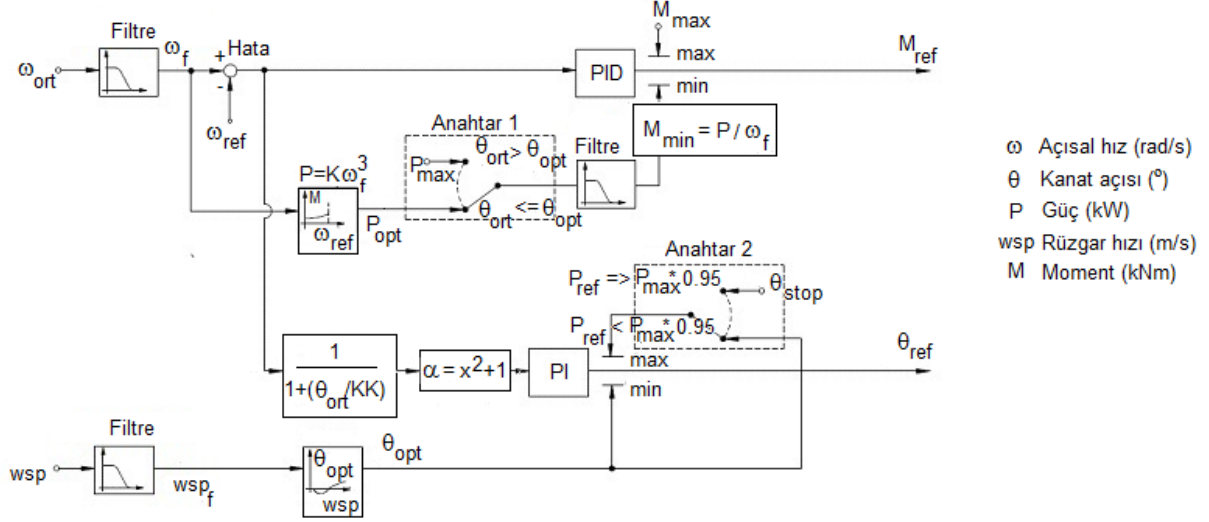
HAWC2 kodu, FORTRAN dilinde sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yazılmış olup bir rüzgâr türbininde birbirine bağlı gövdeleri kullanarak yapısal ve dinamik analizler yapan bir programdır. Rüzgâr türbinleri üreticilerinin türbinlerini sertifikalandırmak için kullandıkları programlar arasında yer almaktadır. Şu anda dünya üzerinden yüzden fazla kullanıcısı olduğu tahmin edilmektedir.

### 2.1. Yapının Tanıtılması

HAWC2 kodu, çoklu gövde formunda çalışır. Bu form birbirinden bağımsız yapısal nesnelerin birleştirilmesi esasına dayanır. Her gövde timoshenko kiriş elemanlarının birleşiminden oluşmaktadır. Türbin birbirlerine kısıt denklemleri ile bağlanan gövdeler olarak modellenir. Kısıtlar, bağlantı elemanı ya da rulman olabilir.



Laboratuvarı tarafından geliştirilen ve HAWC2 simülasyonunda kullanılan kontrol sisteminin diyagramı Şekil 2’de gösterilmiştir.



**Şekil 2:**

HAWC2 simülasyonunda kullanılan kontrol sistemi diyagramı

Kontrol sisteminde yer alan  $K$  terimi rüzgâr türbininden elde edilebilecek güç ( $P$ ) için bir katsayı olup aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$P = \frac{1}{2} \rho A C_p U^3 = \frac{1}{2} \frac{\rho A C_p R^3}{\lambda^3} \omega^3 \quad (1)$$

$$P = K \omega^3 \quad (2)$$

$$K = \frac{1}{2} \frac{\rho A C_p R^3}{\lambda^3} \quad (3)$$

$$\lambda = \frac{\omega R}{U} \quad (4)$$

Yukarıdaki bağıntılarda  $\rho$  havanın yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ ),  $A$  rotorun süpürdüğü alan ( $\text{m}^2$ ),  $C_p$  güç katsayısı,  $U$  rüzgâr hızı ( $\text{m/s}$ ),  $\omega$  rotorun açısal hızı ( $\text{rad/s}$ ),  $R$  rotorun yarıçapı ve  $\lambda$  kanat uç hız oranıdır.

Kontrol sisteminde yer alan  $KK$  terimi ise rotor gücünün kanat açısına göre değişiminin  $\left(\frac{dP}{d\theta}\right) 2 \frac{dP}{d\theta_{opt}}$  değerine ulaştığı kanat açısıdır.

## 2.4. Yük Durumları, Aşırı Yükler ve Yorulma Analizi

Rüzgâr türbinlerinin sertifikalandırılabilmesi için belirli standartları sağlamaları gerekir. Bu standartlardan biri de IEC 61400-3 standardıdır (Anonim, 2005). Bu standarda göre herhangi bir rüzgâr türbininin üzerine gelen yükler, uç koşullarda ortaya çıkabilecek ani yükler ile zaman içerisinde bu yüklerden kaynaklanan yorulma değerlerinin belirlenmesi gerekir. Değişik değerlerdeki yükler ve koşullar simüle edilip elde edilen sonuçlar standartlar ile karşılaştırıldıktan sonra türbinin üretimine izin verilmektedir.

## 2.5. NREL 5 MW Rüzgâr Türbini

Simülasyonlarda kullanılan rüzgâr türbini gerçekte olmayan kurgusal bir türbindir. Türbinin özellikleri aşağıdaki Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1. NREL 5 MW rüzgâr türbini karakteristikleri (Jonkman ve diğ., 2009)**

<b>Anma Gücü</b>	5 MW
<b>Kanat Sayısı</b>	3
<b>Devreye Giriş Hızı</b>	5 m/s
<b>Anma Rüzgâr Hızı</b>	11.4 m/s
<b>Devreden Çıkış Hızı</b>	25 m/s
<b>Rotor Devreye Giriş</b>	6.9 dev/dak
<b>Rotor Devreden Çıkış</b>	12.1 dev/dak
<b>Anma Kanat Uç Hızı</b>	80 m/s
<b>Rotor Çapı</b>	123 m
<b>Kule Yüksekliği</b>	88 m
<b>Rotor Ağırlığı</b>	110000 kg
<b>Makine Dairesi Ağırlığı</b>	240000 kg
<b>Kule Ağırlığı</b>	347460 kg

NREL 5 MW rüzgâr türbininde LM marka cam fiber malzemeden yapılmış 3 adet kanat bulunmaktadır. Türbinden kullanılan kanatların değişik kesitlerdeki burulma açısı, kord uzunluğu ve kullanılan kanat profili detayları Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2. NREL 5 MW rüzgâr türbini kanat boyutları (Jonkman ve diğ., 2009)**

<b>Kesit</b>	<b>Yarıçap (m)</b>	<b>Burulma Açısı (°)</b>	<b>Kord uzunluğu (m)</b>	<b>Kanat profili</b>
<b>1</b>	2.8667	13.308	3.542	Silindir
<b>2</b>	5.6000	13.308	3.854	Silindir
<b>3</b>	8.3333	13.308	4.167	Silindir
<b>4</b>	11.7500	13.308	4.557	DU40
<b>5</b>	15.8500	11.480	4.652	DU35
<b>6</b>	19.9500	10.162	4.458	DU35
<b>7</b>	24.0500	9.011	4.249	DU30
<b>8</b>	28.1500	7.795	4.007	DU25
<b>9</b>	32.2500	6.544	3.748	DU25
<b>10</b>	36.3500	5.361	3.502	DU21
<b>11</b>	40.4500	4.188	3.256	DU21
<b>12</b>	44.5500	3.125	3.010	NACA64

**Tablo 2. (devamı) NREL 5 MW rüzgâr türbini kanat boyutları (Jonkman ve diğ., 2009)**

Kesit	Yarıçap (m)	Burulma Açısı (°)	Kord uzunluğu (m)	Kanat profili
13	48.6500	2.319	2.764	NACA64
14	52.7500	1.526	2.518	NACA64
15	56.1667	0.863	2.313	NACA64
16	58.9000	0.370	2.086	NACA64
17	61.6333	0.106	1.419	NACA64

## 2.6 Simülasyonun Geçerliliği

Simülasyondan elde edilen veriler ile gerçek koşullardaki bir Vestas V39 model rüzgâr türbininden elde edilen deneysel veriler karşılaştırılmıştır. Vestas V39 model rüzgâr türbini 3 kanatlı, kanat açısı kontrollü, 39 m kanat uzunluğuna ve 40 m kule yüksekliğine sahiptir. Türbinin anma gücü 500 kW değerindedir (Petersen, 1994). Amerika Birleşik Devletleri'nde California'da bulunan Sky River bölgesinde yer alan bir arazideki V39 türbini için değişik yük koşulları altında deneyler yapılmıştır (Larsen ve Vølund, 1998). Yapılan deneylerdeki bir koşul Tablo 3'de verilmiştir.

**Tablo 3. Sky River bölgesi deney koşulları**

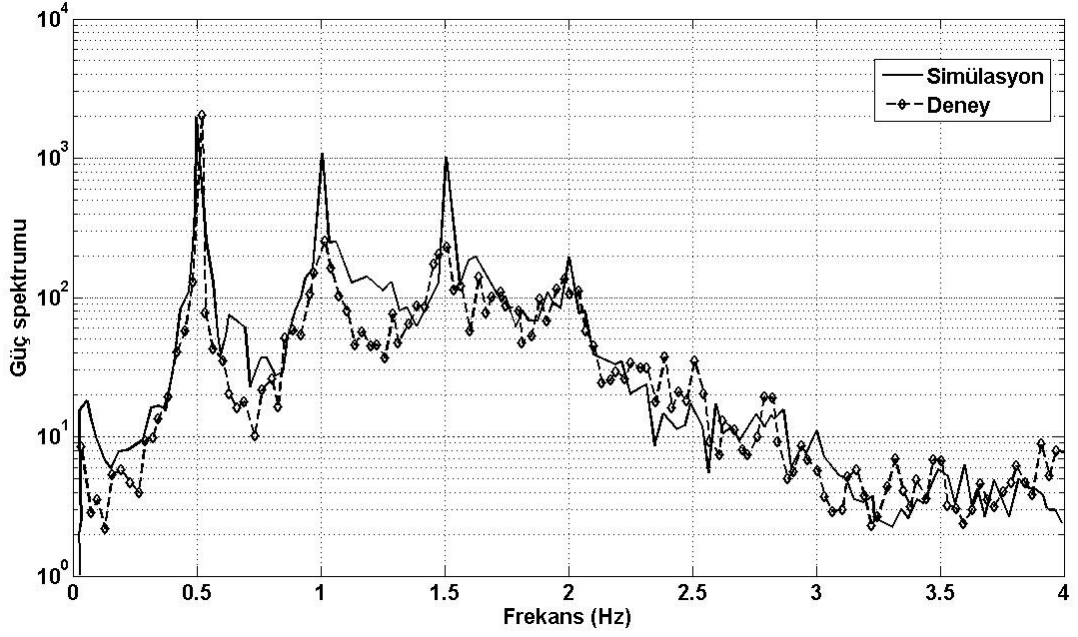
<b>Ortalama Rüzgâr Hızı (m/s)</b>	11.6
<b>Türbülans Yoğunluğu (%)</b>	9.7

Kanat kökünden 10 dakika zaman aralığı ile 32 Hz frekansında ölçümler alınmıştır. Kanadın kökünden kord uzunluğu boyunca ve kanat ucu boyunca hesaplanan moment değerleri istatistikleri Tablo 4'de verilmiştir.

**Tablo 4. Simülasyondan elde edilen moment değerleri istatistikleri**

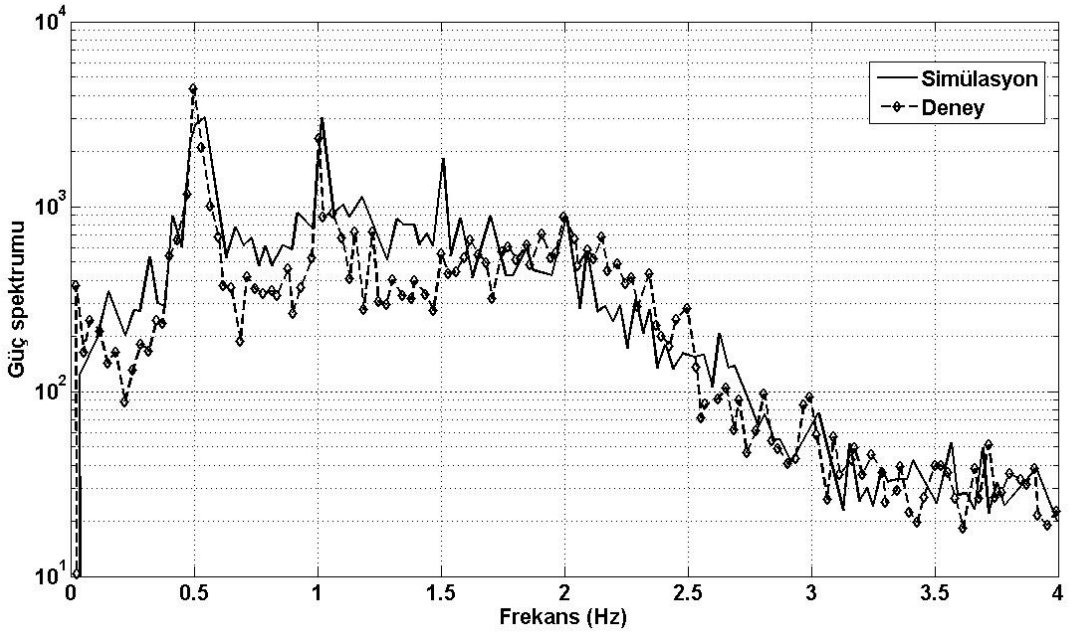
	<b>Ortalama (kNm)</b>	<b>En yüksek (kNm)</b>	<b>En düşük (kNm)</b>	<b>Std. Sapma (kNm)</b>
<b>Kord uzunluğu boyunca</b>	170	249.6	97.1	19.5
<b>Kanat ucu boyunca</b>	30	114.4	-57.7	43.0

Simülasyondan elde edilen sonuçlar ile deneylerden ölçülen sonuçlar 10 dakikalık zaman serilerine ve 32 Hz frekansa göre Fourier transformasyonu sonucu hesaplanan güç spektrumları elde edilerek karşılaştırılmışlardır. Şekil 3'de kord uzunluğu boyunca kanat kökündeki moment değerinin simülasyon sonuçları ile deneylerden elde edilen sonuçların karşılaştırılması gösterilmiştir. Şekil 4'de kanat ucu boyunca kanat kökündeki moment değerinin simülasyon sonuçları ile deneylerden elde edilen sonuçların karşılaştırılması gösterilmiştir. Şekil 3 ve 4'den görüleceği üzere simülasyondan elde edilen sonuçlar ile uyum içerisinde olduğu görülebilmektedir. HAWC2 kodu rüzgâr türbinlerinin değişik koşullar altındaki dinamik cevaplarının simülasyonu için oldukça güvenilir bir programdır.



**Şekil 3:**

*Kord uzunluğu boyunca kanat kökündeki moment değerinin simülasyon sonuçları ile deneylerden elde edilen sonuçların karşılaştırılması*



**Şekil 4:**

*Kanat ucu boyunca kanat kökündeki moment değerinin simülasyon sonuçları ile deneylerden elde edilen sonuçların karşılaştırılması*

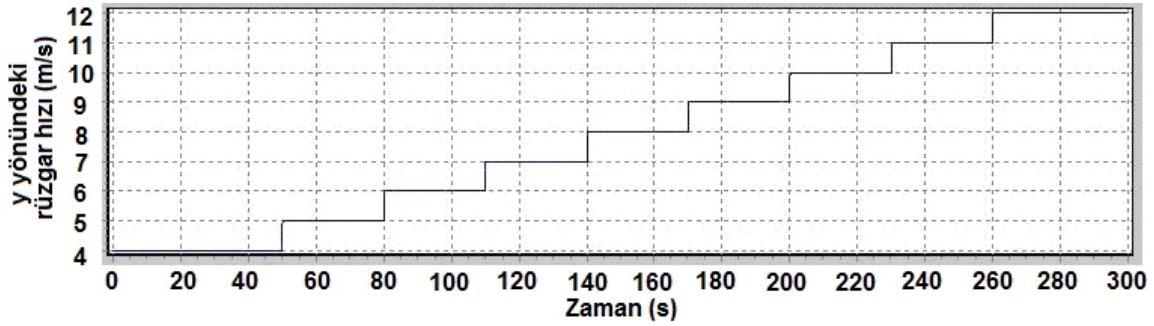
### 3. SONUÇLAR ve BULGULAR

#### 3.1. Sabit Kanat Açılı Rotor

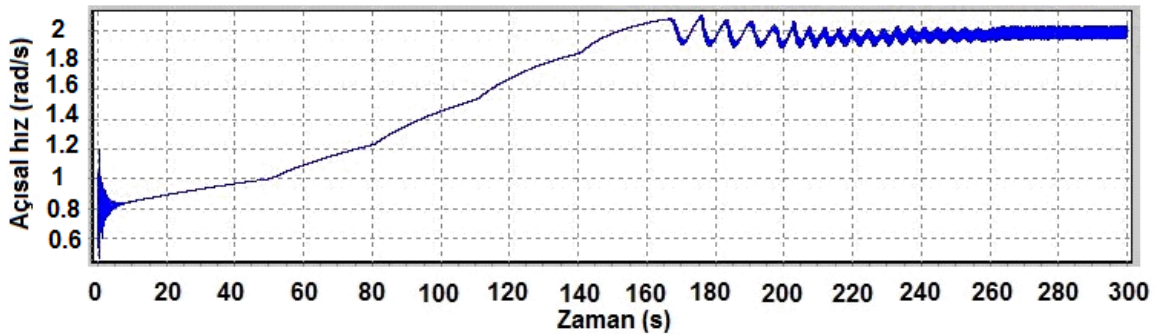
Kanat açısının değiştirilmediği ve sıfır kabul edildiği bir rotor için rüzgâr hızının 2 m/s değerinden 12 m/s değerine kadar 5 dakika içerisinde artarak değiştiği durumda rüzgâr türbininin vereceği dinamik cevaplar analiz edilmiştir. Rotorun değişken açısal hız ve sabit açısal hız durumlarında çalıştığı koşullar için simülasyon yapılmıştır.

##### 3.1.1. Değişken Açısal Hız

Rüzgâr hızının 2 m/s değerinden 12 m/s değerine kadar 5 dakika içerisinde artarken türbin kontrol ünitesinin devrede olmadığı ve açısal hızın rüzgâr hızına göre değiştiği durumda rüzgâr türbininin verdiği cevaplar analiz edilmiştir. Şekil 5’de rüzgâr hızı ve Şekil 6’da rotorun açısal hızı gösterilmektedir. Rotor simülasyonun ortalarından sonra yaklaşık 19 dev/dak değerinde bir devire ulaşmıştır. Kanat ucunun yer değiştirme değeri ve kanat ucundaki rüzgâr hızı değerleri Şekil 7 ve Şekil 8’de gösterilmiştir. Kanat simülasyonun sonlarında 14 m yer değiştirmiş ve kanat ucundaki rüzgâr hızı ise ilerleyen zaman ile birlikte 0 m/s değerinde ölçülmüştür. Kanadın yer değiştirmesi sonucu kanat kuleye çarpmakta ve 0 m/s rüzgâr hızı hesaplanmaktadır.

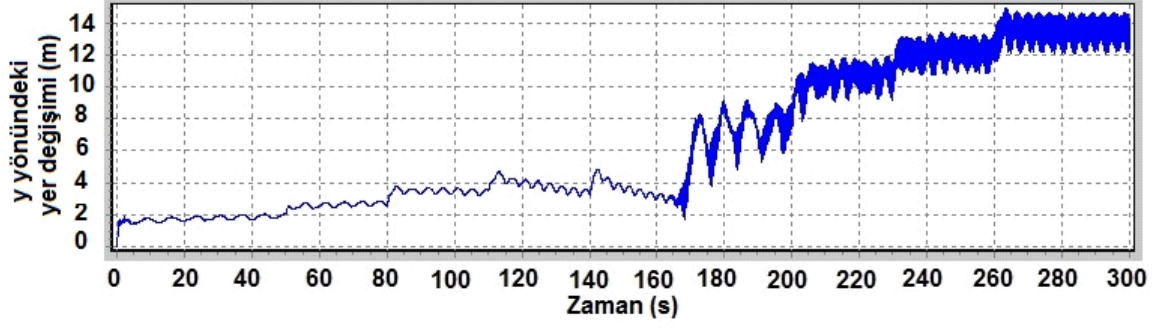


Şekil 5:  
Rüzgâr hızının zamana göre değişimi

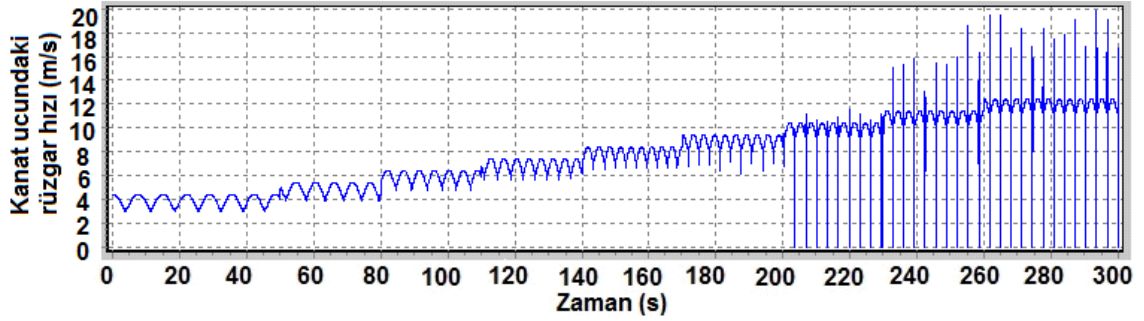


Şekil 6:  
Değişken açısal hız durumunda rotorun açısal hızının zamana göre değişimi





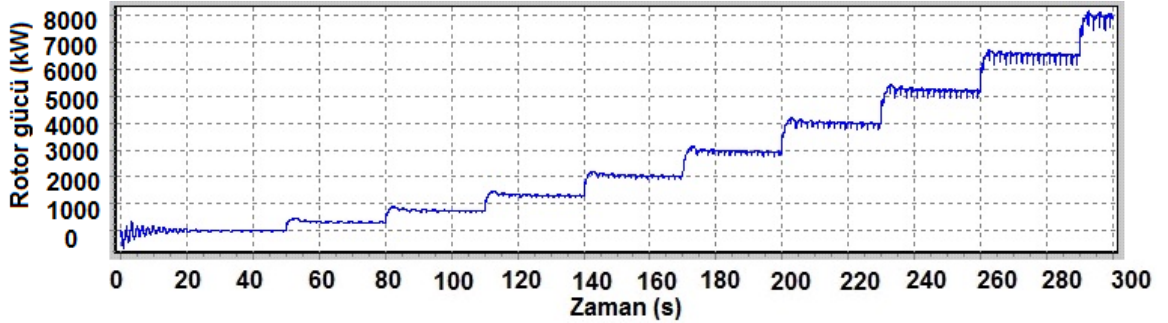
**Şekil 7:**  
*Değişken açısal hız durumunda kanadın rüzgâr yönündeki yer değıştirme değerinin zamana göre değışimi*



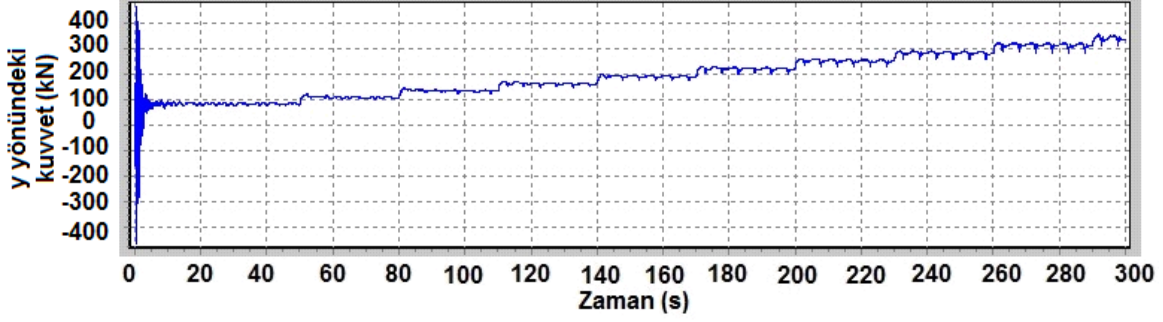
**Şekil 8:**  
*Değişken açısal hız durumunda kanat ucundaki rüzgâr hızı değerinin zamana göre değışimi*

### 3.1.2. Sabit Açısal Hız

Türbin kontrol ünitesinin rotorun devrini yaklaşık 12 dev/dak değerinde sabit tuttuğu durumda rüzgâr türbininin verdiği cevaplar analiz edilmiştir. Rotordan elde edilen güç Şekil 9'da gösterilmiştir. Rotordan elde edilen güç 8 MW değerine kadar ulaşmaktadır. Kanat üzerine rüzgâr doğrultusunda gelen yük ve bu doğrultudaki yer değıştirme değerleri Şekil 10 ve Şekil 11'de gösterilmiştir.

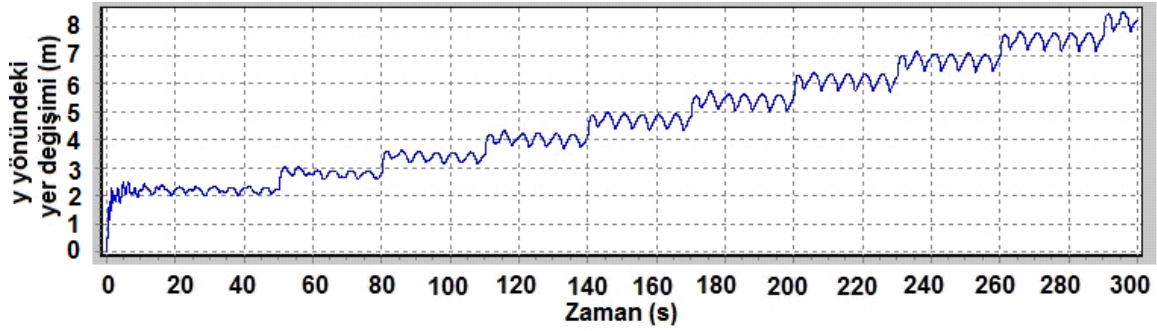


**Şekil 9:**  
*Sabit açısal hız durumunda rotordan elde edilen gücün zamana göre değışimi.*



**Şekil 10:**

*Sabit açısal hız durumunda kanada rüzgâr yönünde gelen yükün zamana göre değişimi*



**Şekil 11:**

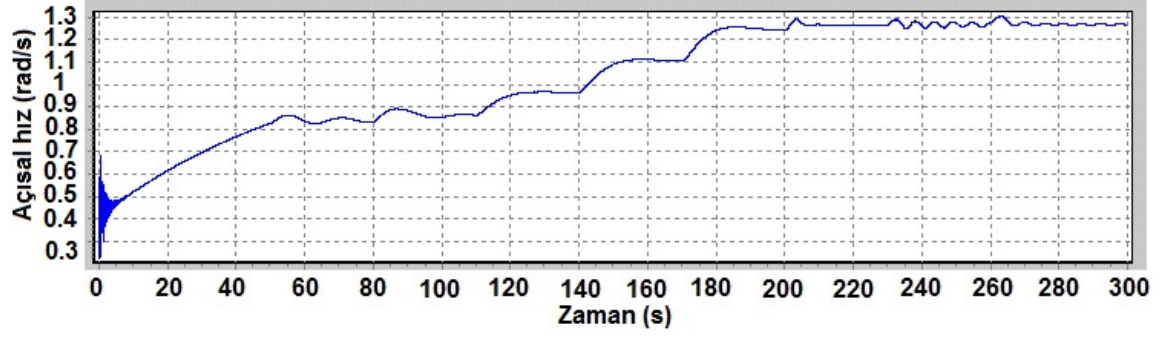
*Sabit açısal hız durumunda kanadın rüzgâr yönündeki yer değiştirme değerinin zamana göre değişimi*

### 3.2. Değişken Kanat Açılı Rotor

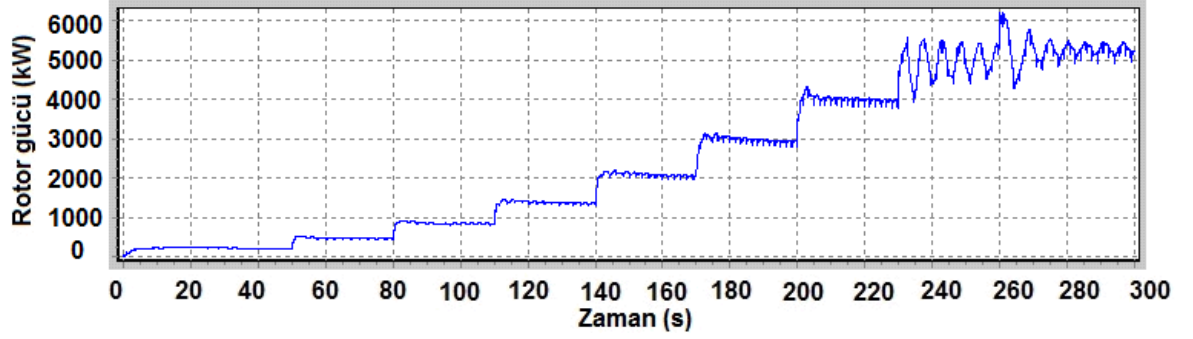
Kontrol ünitesinin devreye girdiği ve kanat açısının değiştirilmesi durumunda öncelikle rüzgârın herhangi bir türbülans etkisi olmadığı durumda, daha sonra türbülans etkisinin de olduğu durumda ve son olarak aniden kuvvetli bir rüzgâr gelmesi durumu için simülasyonlar yapılmıştır.

#### 3.2.1. Türbülans Olmayan Rüzgâr

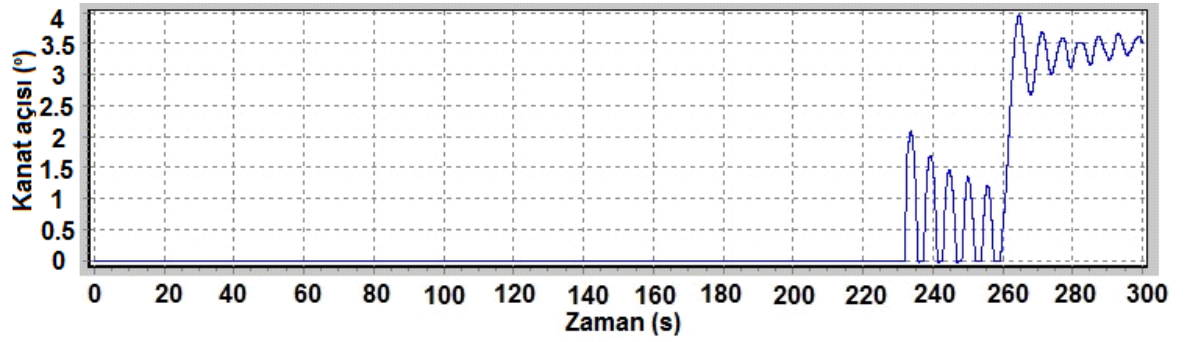
Rüzgârın türbülanssız olması ve kontrol ünitesinin devrede olduğu durumda türbinin verdiği cevaplar analiz edilmiştir. Rotorun açısal hızı ve rotordan elde edilen güç Şekil 12 ve Şekil 13'de gösterilmiştir. Rotordan elde edilen güç 5 MW değerine kadar ulaşmaktadır. Kanat açısının zamanla değişimi ve kanadın rüzgâr doğrultusundaki yer değiştirme değerleri Şekil 14 ve Şekil 15'de gösterilmiştir. Kanatların açıları türbinin anma gücü olan 5 MW değerine kadar değiştirilmemekte, bu güç değerine ulaşıncaya kadar değiştirilerek rotorun açısal hızı sabit tutulmaktadır. Kanadın rüzgâr doğrultusunda en çok 6 m yer değiştirdiği görülebilmektedir.



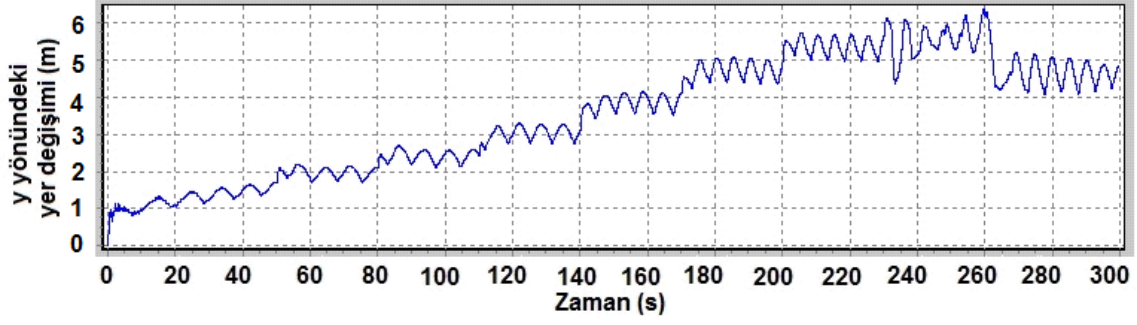
**Şekil 12:**  
*Türbülans olmayan rüzgâr durumunda rotorun açısız hızının zamana göre değişimi*



**Şekil 13:**  
*Türbülans olmayan rüzgâr durumunda rotordan elde edilen gücün zamana göre değişimi*



**Şekil 14:**  
*Türbülans olmayan rüzgâr durumunda kanat açısının zamana göre değişimi*

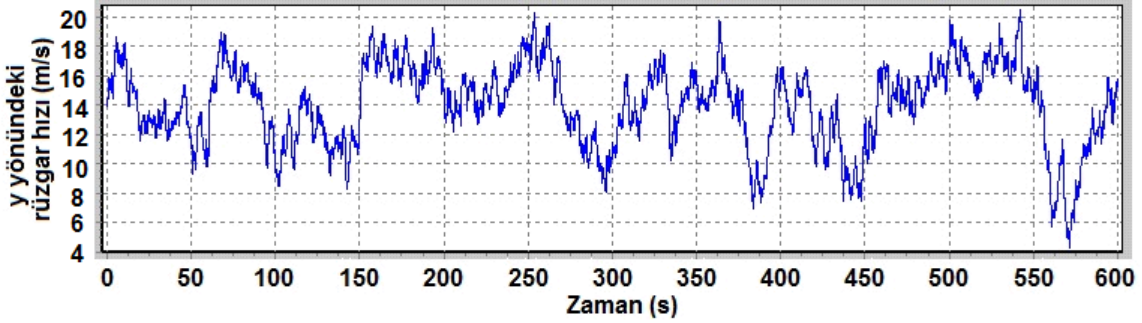


**Şekil 15:**

*Türbülans olmayan rüzgâr durumunda kanadın rüzgâr yönündeki yer değıştirme değeri- nin zamana göre değışimi*

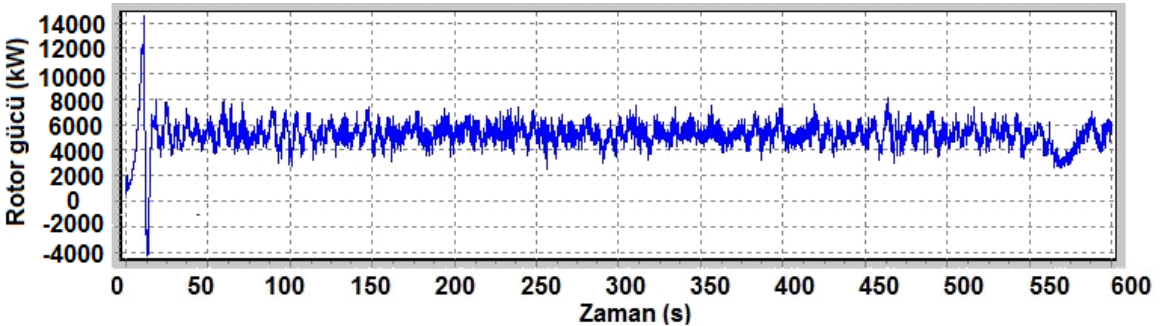
### 3.2.2. Türbülanslı Rüzgâr

Rüzgârın türbülanslı olması ve kontrol ünitesinin devrede olduğu durumda türbinin verdiği cevaplar analiz edilmiştir. Rüzgâr hızı ve rotordan elde edilen güç Şekil 16 ve Şekil 17’de gösterilmiştir. Türbülanslı rüzgâr hızının değışken olması rotordan elde edilen gücün de salınım yapmasına yol açmaktadır. Kanat açısının değışimi ve kanadın yer değıştirme değeri Şekil 18 ve Şekil 19’de verilmiştir.



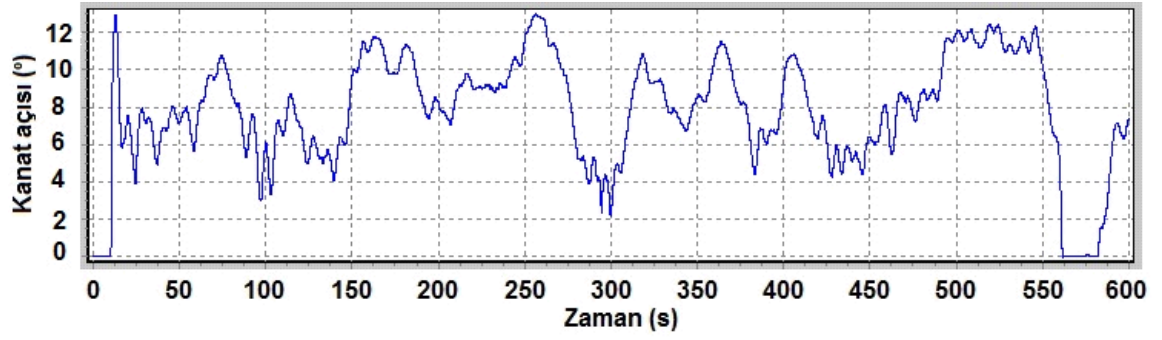
**Şekil 16:**

*Türbülanslı rüzgâr durumunda rüzgâr hızının zamana göre değışimi*

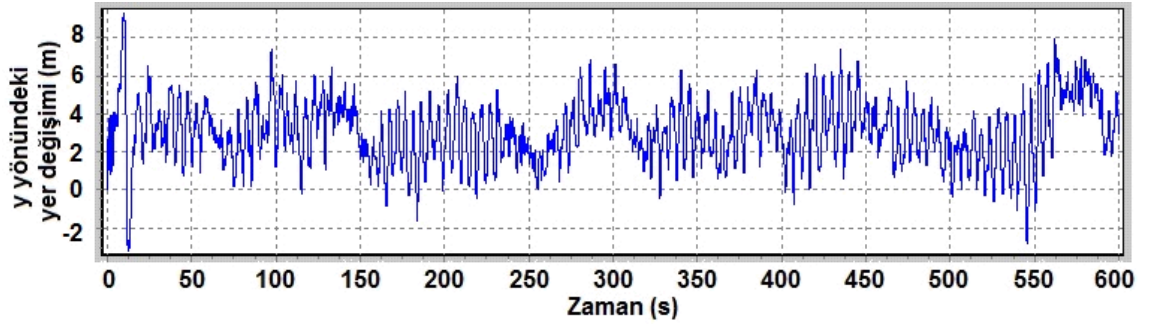


**Şekil 17:**

*Türbülanslı rüzgâr durumunda rotordan elde edilecek gücün zamana göre değışimi*



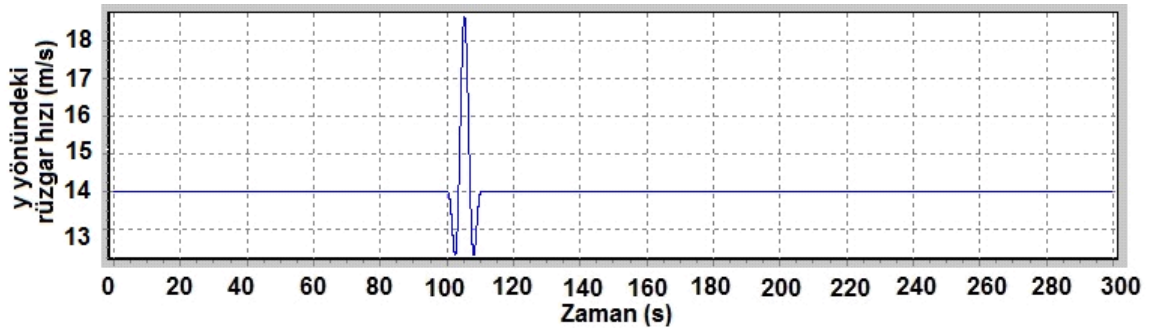
**Şekil 18:**  
*Türbülanslı rüzgâr durumunda kanat açısının zamana göre değişimi*



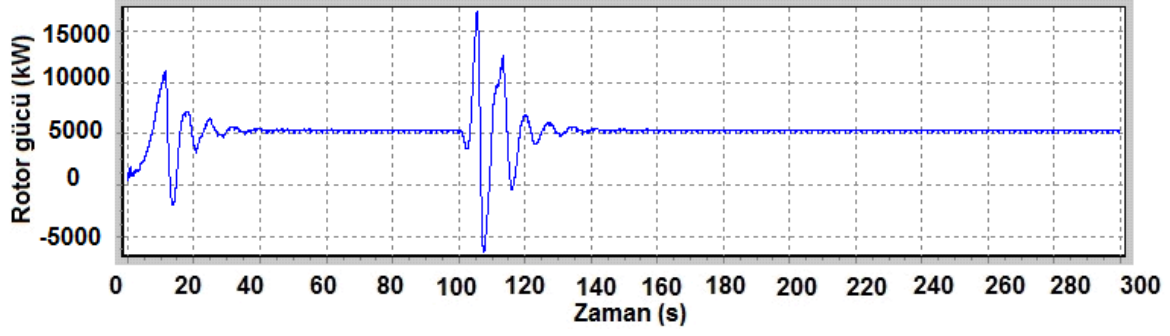
**Şekil 19:**  
*Türbülanslı rüzgâr durumunda kanadın rüzgâr yönündeki yer değiştirme değerinin zamana göre değişimi*

### 3.2.3. Aniden Gelen Kuvvetli Rüzgâr

Rüzgâr 14 m/s ortalama hızla eserken aniden kuvvetli bir rüzgâr gelmesi durumunda türbinin verdiği cevaplar analiz edilmiştir. Rüzgâr hızı ve rotordan elde edilen güç Şekil 20 ve Şekil 21’de gösterilmiştir. Kanatlar üzerine gelen yük ve kanatların yer değiştirme değerleri Şekil 22 ve Şekil 23’de gösterilmiştir. Gelen kuvvetli rüzgârın etkisi ile kanat üzerinde rüzgâr yönünde oluşan yük ve yer değiştirme değerleri iki katına kadar çıkmıştır.

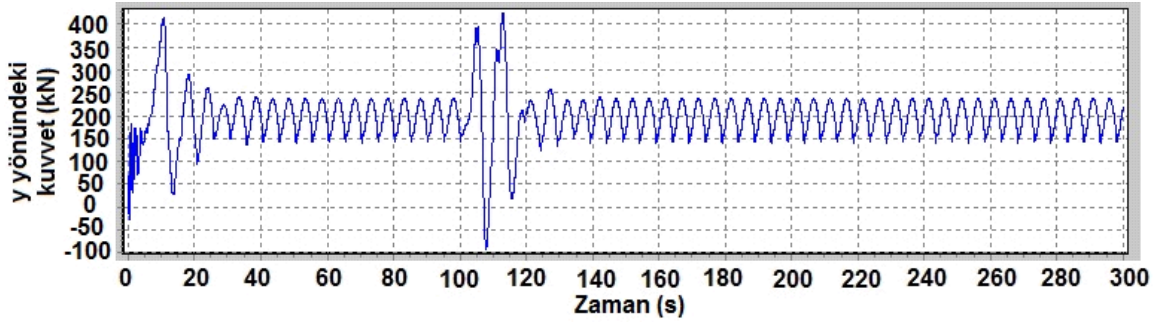


**Şekil 20:**  
*Aniden gelen kuvvetli bir rüzgâr durumunda rüzgâr hızının zamana göre değişimi.*



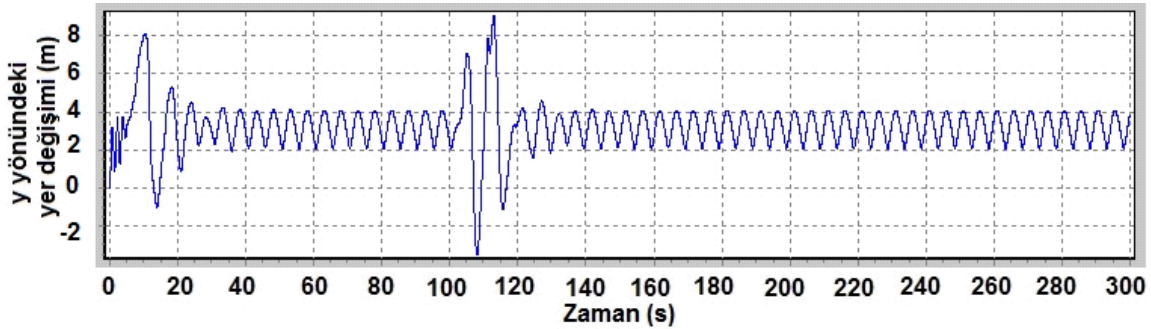
**Şekil 21:**

*Aniden gelen kuvvetli bir rüzgâr durumunda rotordan elde edilen gücün zamana göre değişimi*



**Şekil 22:**

*Aniden gelen kuvvetli bir rüzgâr durumunda kanada rüzgâr yönünde gelen yükün zamana göre değişimi*



**Şekil 23:**

*Aniden gelen kuvvetli bir rüzgâr durumunda kanadın rüzgâr yönündeki yer değiştirme değerinin zamana göre değişimi.*

#### 4. SONUÇ

Rüzgâr türbinlerinin üretilmesi ve sertifikalandırılması sırasında belirli standart testlerin ve simülasyonların yapılması gerekmektedir. Aeroelastik rüzgâr türbini kodları yardımıyla türbin bileşenleri üzerindeki aerodinamik, statik ve diğer yüklerin etkisi belirlenebilir.

Bu çalışmada NREL 5 MW rüzgâr türbininin sabit kanat açılı durumda çalışırken değişken ve sabit açısal hız durumlarında, değişken kanat açılı durumda ise türbülanssız, türbülanslı rüzgâr olması ve türbin üzerine aniden kuvvetli bir rüzgâr gelmesi durumları için toplam beş ayrı koşulda simülasyon gerçekleştirilmiştir. Türbin ve bileşenlerinin bu koşullara verdikleri dinamik cevaplar incelenmiştir.

Türbin bileşenlerine gelen yükler türbin dayanımını ve ömrünü etkilemektedir. Çalışma ömürleri ortalama 20 yıl olan türbinlerde işletme sırasında oluşabilecek değişik koşulların oluşturabileceği etkilerin önceden hesaplanarak olası kötü sonuçları engellemek tasarım sürecinde mümkündür.

## KAYNAKLAR

1. Ahlström, A. (2005). Aeroelastic Simulation of Wind Turbine Dynamics, Ph.D. thesis, Stockholm.
2. Anonim (2005). IEC 61400-1 Ed. 3, Wind Turbines - Part 1: Design Requirements.
3. Hansen, O.L.M. (2008). Aerodynamics of Wind Turbines, 2<sup>nd</sup> Edition, Earthscan, London.
4. Jonkman, J., Butterfield, S., Musial, W., and Scott, G. (2009). Definition of a 5-MW Reference Wind Turbine for Offshore System Development, NREL/TP-500-38060, Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory.
5. Larsen G.C., Vølund, P. (1998). Validation of an Aeroelastic model of Vestas V39, Risø-R-1051 (EN), Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.
6. Larsen, T.J. (2010). How to HAWC2, User's manual, Risø-R-1597(ver 3-9)(EN), Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.
7. Mann, J. (1994). Models in Micrometeorology, Risø-R-727 (EN), Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.
8. Petersen, S.M. (1994). Wind Turbine Test VESTAS V39-500 kW System Test, Risø-I-807 (EN), Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.

Makale 20.02.2012 tarihinde alınmış, 30.07.2012 tarihinde düzeltilmiş, 04.09.2012 tarihinde kabul edilmiştir.

